

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA
RESIDENCIA PROFESIONAL

NOMBRE DEL PROYECTO:

“Evaluación de endosulfan, DDT, dieldrín y metales pesados en sedimentos de los lagos La Encantada y Agua Tinta del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Comitán de Domínguez, Chiapas en temporada de lluvias.”

EMPRESA:

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

ALUMNO:

Mérida Torres Neby Melina

No. DE CONTROL: 12510064

CARRERA:

Ingeniería Química

FECHA DE INICIO

21 de agosto del 2017

FECHA DE TERMINACIÓN

21 de diciembre del 2017

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. OBJETIVOS.....	5
3.1 Objetivo general.....	5
3.2 Objetivos específicos.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	6
5. MARCO TEÓRICO.....	7
5.1 Plaguicidas organoclorados.....	7
5.2 Metales pesados.....	9
5.3 Parámetros fisicoquímicos.....	11
6. METODOLOGÍA.....	14
6.1 Área de muestreo.....	14
6.2 Toma de muestras.....	15
6.3 Determinación de plaguicidas organoclorados.....	16
6.4 Determinación de metales pesados.....	18
6.5 Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua.....	20
6.6 Curva de calibración y determinación la demanda química de oxígeno (DQO).....	21
6.7 Determinación de parámetros fisicoquímicos en sedimentos.....	22
6.8 Análisis estadístico.....	23
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	24
7.1 Parámetros fisicoquímicos en agua y sedimentos.....	24
7.2 Plaguicidas organoclorados.....	25
7.3 Metales pesados.....	26
7.4 Límites máximos permisibles por las normas mexicana y canadiense, y niveles de referencia para EEUU.....	29
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
9. COMPETENCIAS.....	33
10. BIBLIOGRAFÍA.....	34
11. ANEXOS.....	41

1. RESUMEN

Los plaguicidas organoclorados y los metales pesados son contaminantes altamente tóxicos que necesitan ser monitoreados para establecer una línea base de sus concentraciones en el ecosistema estudiado y diagnosticar sus posibles fuentes de emisión. En este estudio se evaluaron las concentraciones de estos contaminantes en las lagunas “Agua Tinta y La Encantada” de la reserva Lagunas de Montebello Chiapas, México. Estas lagunas son caracterizadas como lagunas de recreación, suministro de agua a muchas comunidades y fuente de alimentos a las mismas por lo que podrían ser un riesgo a la salud humana. En los alrededores existen campos de cultivos donde se utilizan los plaguicidas constantemente y en el pasado posiblemente se hizo uso de organoclorados que persistentes al ambiente. Así también, existen arrastres de metales pesados de fuentes de basureros, o son arrastrados de comunidades aledañas donde existen procesos de minería. Los resultados fueron contrastados con las normativas correspondientes de México y Canadá, con los niveles de fondo de referencia para los Estados Unidos de América. No se detectaron plaguicidas organoclorados y las concentraciones detectadas de metales pesados no rebasaron los Límites Máximos Permisibles de las normas de México, Canadá y Estados Unidos. Estos resultados muestran que las lagunas estudiadas presentan inicios de contaminación por metales pesados por lo que hay que fomentar normas de manejo de estos residuos para evitar un alto nivel de contaminación.

Palabras clave: Contaminación de cuerpos acuáticos, Lagos de Montebello, parámetros fisicoquímicos, DQO.

2. INTRODUCCIÓN

Los pesticidas organoclorados (POCs) son compuestos persistentes, pueden ser transportados atmosféricamente a largas distancias, y se les ha encontrado en el ambiente (Wania y Mackay 1996, Gouin *et al.*, 2004, Tuduri *et al.*, 2006). Aunque su producción, uso y eliminación han sido regulados o prohibidos en la mayoría de los países desarrollados hoy en día todavía se utilizan en muchos países en vías de desarrollo (Zhou *et al.*, 2008). En América del Norte, los POCs continúan siendo detectados en el medio ambiente aún cuando fue prohibido hace algunas décadas (Alegría 2004).

El diclorodifenil triclorohexano (DDT), eldrín, dieldrín y endosulfan son compuestos orgánicos persistentes que pertenecen a la familia de POCs, estos compuestos han causado preocupación en todo el mundo por su toxicidad crónica, persistencia y bioacumulación (Benítez y Bárcenas, 2005). Estos compuestos presentan una amenaza potencial a los ecosistemas y a la salud humana (Tan *et al.*, 2009; Xu X *et al.*, 2007). En México se prohibió el uso del DDT en el año 2000 (NACEC 1997; NACEC 2003), sin embargo, un estudio sobre la calidad del aire en el estado de Chiapas siguen revelando altos niveles de toxafen y endosulfán (Alegría 2004, Alegría *et al.*, 2006, Shen *et al.*, 2005). Al igual en Belice y Centroamerica se han encontrado altos niveles de DDT, aldrín y dieldrín (Shen *et al.*, 2005; Alegría *et al.*, 2000).

Otros contaminantes que han cobrado importancia son los metales pesados, se han encontrado tanto en cuerpos de aguas y sedimentos (Lacerda *et al.*, 1993; Mackey y Hodgkinson 1995; Tam y Yao 1998). Por ejemplo, en un estudio realizado en la cuenca del río de Sonora, México reportaron la presencia de metales pesados en aguas superficiales y en sedimentos, relacionado con las actividades mineras, y con la explotación del Cu y Mo. La presencia de Cu, Fe, Mn, Pb y Zn en agua, sedimento de ríos, lagos y zonas aledañas ha provocando cambios en la estabilidad ecológica (Soto-Jiménez y Páez-Osuna, 2001). Debido a su alto potencial tóxico, el As, Cd, Cr, Hg y el Pb son tomados en cuenta de forma particular y están considerados como contaminantes altamente peligrosos; sin embargo, otros

metales como el Cu y el Zn también pueden resultar tóxicos si exceden ciertos niveles de concentración (Esteves Gil y Harvey 1996; García-García *et al.*, 2012; Soto-Cruz *et al.*, 2011). Algunos metales tienden a acumularse en organismos acuáticos (bioacumulación) y alcanzan concentraciones sucesivamente mayores al ascender los niveles tróficos, lo que representa un riesgo para la salud de las personas que los consumen (Pérez-Cruz *et al.*, 2013).

Las lagunas costeras y estuarios son ecosistemas que están siendo afectados de forma negativa por los POCs y metales pesados, esto se relaciona con el crecimiento urbano, el desarrollo, actividades industriales, mineras, acuícola y agrícolas entre otros (Alegría 2000; Benítez y Bárcenas 2005; Carvalho *et al.*, 1999; Carvalho *et al.*, 2002; Taylor *et al.*, 2003; Carvalho *et al.*, 2009; Senthil Kumar *et al.*, 2008; Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna 1998). Algunos estudios han reportado que en aguas tranquilas, como son las lagunas pueden acumularse cantidades significativas de contaminantes representando un riesgo potencial para el ecosistema y podría dar lugar a cambios en su estabilidad ecológica (Ruelas-Inzunza y Páez-Osuna 1998).

La subcuenca Lagunas de Montebello, se ubica en la cuenca del río Usumacinta y abarca parte de los territorios de los municipios de Comitán, La Independencia y La Trinitaria así como una pequeña porción del municipio de Las Margaritas y una localidad de la república de Guatemala. Corresponde a una de las tres subcuencas que constituyen la cuenca transfronteriza conocida del lado guatemalteco como cuenca Pojom y en México como Lagunas de Montebello. Las lagunas de Montebello comprenden alrededor de 60 lagos y algunos se encuentran interconectados. Los Lagos “La Encantada” y “Agua Tinta” son parte de este compendio de este parque nacional. Estos lagos están rodeados por montañas y bosques mixtos que cuentan con vegetación de pinos-encinos y pinos-encinos-liquidambar así como bosques de pino y bosques de encino. En la cuenca se observan bosques fragmentados de pinares, encinares y en su mayor parte vegetación secundaria con elementos del género acacia y matorrales con especies

diversas de cactáceas. Asimismo, en los pueblos y comunidades de los alrededores a nivel de traspatio, existe vegetación inducida que está representada por algunos árboles frutales, agricultura y hortalizas (Pérez *et al.*, 2007). La agricultura temporal demanda el uso constante de pesticidas para el control de plagas y herbicidas para el control de malezas. Al igual en las ciudades y pueblos aledaños se hace uso de pesticidas constantemente para el control de plagas e insectos vectores de enfermedades (CONAGUA, 2009). Además, los ríos y escorrentías que llegan a desembocar en estas lagunas pueden estar contribuyendo a residuos de metales pesados relacionados con la minería en regiones aledañas. Los ríos constituyen una de las principales vías de transporte de metales y POCs en su forma original o sus metabolitos a las zonas costeras, al ser transportados en el arrastre de materiales desde la cuenca media y alta (Zhang *et al.*, 1992). Los efectos de los metales pesados y POCs en los ecosistemas acuáticos son de particular interés, porque son contaminantes que persisten en los sedimentos y pueden ser liberados en el agua, quedando disponibles para la biota acuática, lo cual representa una potencial amenaza para el funcionamiento del ecosistema (Visviki y Rachlin 1991).

En este trabajo se evaluó la presencia de varios compuestos organoclorados y metales pesados en sedimentos de las lagunas “Agua Tinta y La Encantada” debido a que estos compuestos tienden a depositarse en ellos y se presentan en niveles más bajos en el agua (Soto-Cruz *et al.*, 2011, Leal-Ascencio *et al.*, 2009; Szalinska *et al.*, 2007). Para evaluar los POCs se utilizó la cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas y para evaluar los metales se realizaron extracciones secuenciales y se identificó mediante el equipo de plasma de acoplamiento inductivo con espectrometro de emisión óptica.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar organoclorados y metales pesados en sedimentos de los lagos “La Encantada” y “Agua Tinta”, del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Comitán de Domínguez, Chiapas.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Identificar y cuantificar Endosulfan, DDT, Dieldrín entre otros, en sedimentos de los lagos “La Encantada” y “Agua Tinta” del parque nacional Lagunas de Montebello.

- ✓ Evaluar parámetros fisicoquímicos *in situ* y en laboratorio tales como: pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), en los puntos de muestreo de los lagos “La Encantada” y “Agua Tinta”.

- ✓ Identificar y cuantificar metales pesados tales como: Al, As, B, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, Zn, V y Ti en sedimentos de los lagos “La Encantada” y “Agua Tinta” la concentración de nitrógeno total (NT), fósforo total (FT) y carbón orgánico total (CT) fue determinado a los sedimentos.

4. JUSTIFICACIÓN

A los alrededores de los lagos en estudio, se cultiva: maíz, frijol y calabaza. También existen áreas en las que cultivan tomate y otras hortalizas, estas actividades demandan el uso constante de plaguicidas y herbicidas. El aumento poblacional, desarrollo industrial, minero, entre otros, cada vez va en aumento y contribuye a grandes cantidades de residuos que contienen diferentes tipos de metales. Las escorrentías contribuyen a transportar lixiviados que arrastran plaguicidas en su forma natural, o alguno de sus metabolitos así como residuos de diferentes metales. Es así, como los organoclorados y metales pesados pueden estar ingresando a los cuerpos acuáticos de los Lagos de Motobello y se han estado acumulando en sedimentos de los mismos (CONAGUA, 2009).

Los POCs presentan una amenaza potencial a los ecosistemas y a la salud humana al igual que los metales pesados por su alta toxicidad (Tan *et al.*, 2009; Xu X *et al.*, 2007; Esteves Gil y Harvey 1996; García-García *et al.*, 2012, Soto-Cruz *et al.*, 2011). La influencia de los aportes antropogénicos de metales y otros contaminantes es compleja, debido a su efecto negativo a la salud humana. Los POCs y los metales pesados son bioacumulables en nuestro organismo y son perjudiciales para el medio ambiente en general (Benítez y Bárcenas 2005; Pérez-Cruz *et al.*, 2013). Sin embargo, tanto los POCs como los metales pesados han sido poco estudiados en los cuerpos de aguas y sedimentos de estas lagunas de importancia recreativa y de consumo humano.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Plaguicidas organoclorados

Plaguicida es el nombre genérico que recibe cualquier sustancia o mezcla de sustancias que son usadas para el control y combate a insectos que son plagas de los cultivos o vectores de enfermedades humanas y animales. Un grupo de plaguicidas que se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente por el uso abundante y constante que tuvieron en el pasado son los organoclorados (OCs) (Iwata *et al.*, 1994; Calva y Torres 1998). Los plaguicidas OCs son considerados persistentes en el ambiente debido a su alta estabilidad química y notable resistencia al ataque de los microorganismos. La exposición a los plaguicidas OCs puede causar riesgos a la salud como una mayor propensión a desarrollar cáncer (IACR 1991), efectos reproductivos (Salazar-García 2004), efectos neurológicos y de comportamiento (Pérez *et al.*, 2007).

Entre los plaguicidas OCs más persistentes destacan el diclorodifeniltricloroetano (DDT), el cual es considerado como causante de cáncer y problemas reproductivos (Flores-Luévano *et al.*, 2003, Gladen *et al.* 2004, Salazar-García 2004), efectos neurológicos y de comportamiento (Eskenazi 2006, Torres- Sánchez *et al.*, 2007) así como genotóxicos (Pérez-Maldonado *et al.*, 2004, Herrera- Portugal *et al.*, 2005) así como el dieldrín tiene un mayor potencial en producir el cáncer o favorecer su aparición (Ritter *et al.*, 1995).

Cuadro 1. Persistencia de algunos plaguicidas organoclorados (Cruz-Esteban 2009).

Organoclorados	Persistencia en el suelo (semanas)
Endosulfan	22
Dieldrin	312
DDT	546

5.1.1 Endosulfan

El endosulfan es un insecticida altamente tóxico y es considerado como un contaminante orgánico persistente en el ambiente y en el suelo, su solubilidad en el agua es muy baja.

5.1.2 DDT

El dicloro difenil tricloroetano (DDT) o más exactamente 1,1,1-tricloro-2,2-bis(4-clorofenil)-etano, de fórmula $(C_6H_4)_2CH(CCl_3)$ es un compuesto organoclorado principal de los insecticidas. Es incoloro. Es muy soluble en las grasas y en disolventes orgánicos, y prácticamente insoluble en agua. Su peso molecular es de 354 g/mol. En el siglo XX fue utilizado con intensidad como insecticida pero, tras una campaña mundial que alegaba que este compuesto se acumulaba en las cadenas tróficas y ante el peligro de contaminación de los alimentos, se prohibió su uso.

5.1.3 Dieldrín

Aldrín y Dieldrín son los nombres técnicos de dos compuestos estructuralmente similares que se usaron como insecticidas. Ambos son sustancias químicas manufacturadas y no están naturalmente en el ambiente. El Aldrín y el Dieldrín puros son polvos blancos, mientras que los compuestos de calidad técnica son polvos de color canela. El Aldrín y el Dieldrín se evaporan lentamente al aire. El Aldrín se evapora más rápidamente que el Dieldrín. Ambos compuestos huelen levemente a sustancia química. Se puede encontrar Aldrín y Dieldrín en el suelo, el agua o en viviendas donde se usaron estos compuestos para matar termitas. También puede encontrar Aldrín y Dieldrín en plantas y en animales que se encuentran cerca de sitios de desechos peligrosos. Desde los años 1950 hasta 1970, Aldrín y Dieldrín se usaron extensamente como insecticidas en

cosechas tales como maíz y algodón, y se dejaron de producir hasta el año 2000. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (EUA) canceló todos los usos del Aldrín y el Dieldrín en 1970. Sin embargo, en 1972 la EPA aprobó el uso de Aldrín y de Dieldrín para matar termitas. Su uso para controlar termitas continuó hasta 1987. En 1987, el fabricante canceló voluntariamente el registro del uso para controlar termitas.

Las dos sustancias químicas se tratan juntas porque el Aldrín se transforma en Dieldrín cuando entra al ambiente o al cuerpo de un insecto. El Aldrín no es tóxico a los insectos, hasta que lo oxidan los insectos a la forma Dieldrin que es el compuesto activo.

5.2 Metales pesados

Los metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua y tienen aplicación directa en diversos procesos de producción, están presentes en bajas concentraciones en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas provocan efectos dañinos a la salud humana, al suelo, flora y fauna (García-García *et al.*, 2012; Jiménez-Cisneros 2001; White y Rasmussen 1998) debido a su alto potencial toxico. Entre 1850 y 1990 la producción de cobre, plomo y zinc aumento 10 veces (Nriagu 1995; CACAR 1996). Este aumento está relacionado con los procesos industriales, mineras, fundiciones, combustión de combustibles fósiles y gasolina e incineradores de desechos.

Los metales pesados provienen en gran medida de fuentes antropogénicas, como desechos domésticos, agrícolas e industriales y constituyen un peligro para el ser humano, así también, son un factor de deterioro ambiental. Estos elementos se acumulan fácilmente en los sedimentos (Acosta *et al.*, 2002).

5.2.1 Cobre (Cu)

El cobre se encuentra principalmente en forma de compuestos minerales, es maleable y dúctil, es un excelente conductor del calor y la electricidad, y su capacidad funcional se altera muy poco con la exposición al aire seco.

5.2.2 Cromo (Cr)

El cromo elemental no se encuentra como tal en la naturaleza; el único mineral de cromo importante es la espinela, cromita o piedra de cromo hierro, que es cromito ferroso (FeOCr_2O_3) y está ampliamente distribuida en la corteza terrestre.

El cromo forma diversos compuestos en distintos estados de oxidación. Los más importantes son los estados de valencia II (cromosos), III (crómicos) y VI (cromatos). El estado II es básico, el III es anfótero y el VI es ácido. En las aplicaciones comerciales se utilizan principalmente compuestos de cromo en estado VI y, en algunos casos, en estado III.

5.2.3 Manganeso (Mn)

El manganeso (Mn) es uno de los elementos más abundantes de la corteza terrestre. Se encuentra en la tierra, los sedimentos, las rocas, el agua y los productos biológicos. El manganeso se utiliza en la producción del acero como reactivo para reducir el oxígeno y el azufre, y como agente de aleación para la fabricación de aceros especiales, aluminio y cobre.

5.2.4 Mercurio (Hg)

El mercurio se combina rápidamente con el azufre y los halógenos a temperatura normal y forma amalgamas con todos los metales excepto el

hierro, el níquel, el cadmio, el aluminio, el cobalto y el platino. El mercurio inorgánico se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuro (HgS), como mineral de cinabrio.

5.2.5 Plomo (Pb)

El plomo metálico se utiliza en forma de planchas o tubos cuando se requiere una gran maleabilidad y resistencia a la corrosión, como en la industria química o en la construcción. También se utiliza para el revestimiento de cables, como componente de soldadura y como empaste en la industria automovilística. Es un material excelente como protector de radiaciones ionizantes. Se utiliza en los procesos de metalizado para proporcionar recubrimientos protectores, en la fabricación de acumuladores y como baño de termotratamiento en el revenido de hilos metálicos.

5.2.6 Zinc (Zn)

El zinc se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y constituye aproximadamente un 0.02% de la corteza terrestre. Adopta la forma de sulfuro (esfalerita), carbonato, óxido o silicato (calamina) de zinc, combinado con muchos minerales. La esfalerita, el principal mineral de zinc y fuente de al menos el 90 % del zinc metálico, contiene hierro y cadmio como impurezas

5.3 Parámetros fisicoquímicos

5.3.1 Temperatura

Las lecturas de temperatura son usadas en operaciones generales de laboratorio, a menudo se requiere el conocimiento de este parámetro como

una función de la profundidad. La medición de temperatura en muestras ambientales debe ser una labor realizada *in situ*, y no aplica por ello los procedimientos de almacenamiento y preservación. El mejor método para la lectura de este parámetro es introducir directamente los equipos de medición (termómetro o sonda) en el cuerpo de agua.

Las muestras en campo deben medirse directamente en la columna de agua introduciendo la sonda y procurando mantenerla siempre a la misma profundidad (25 cm por debajo de la superficie). Para tomar la temperatura en el fondo de la columna de agua es conveniente el uso de sondas que puedan bajar hasta el lugar donde se necesita leer pH.

5.3.2 pH

Medir el pH es de importancia en las pruebas químicas del agua. El rango de pH para aguas naturales oscila entre 4 y 9, la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos. En la actualidad la técnica más exacta, usada para la medición del pH es la potenciométrica, que se fundamenta en la medida de la diferencia de potencial experimentada en dos celdas electroquímicas (denominadas electrodos).

La medición del pH en muestras ambientales debe ser *in situ*. El mejor procedimiento para medir este parámetro es introducir el sensor del equipo multiparamétrico (Hach) en el cuerpo de agua.

5.3.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad que presenta una solución acuosa para conducir corriente eléctrica, que generalmente se expresa en mmhos/cm o en Siemens/m; la NOM-021-RECNAT-2000 establece

Siemens/m a 25°C. La determinación de la conductividad eléctrica es una forma de medir la salinidad del agua o extractos del suelo.

El método de la conductividad eléctrica se realiza por medio de un conductímetro sobre una muestra de agua o extracto de suelo. Este método se basa en la teoría de la disociación electrolítica. Es aplicable en aguas o extractos de suelo. Los electrodos del equipo por lo general son de platino y en ocasiones pueden llevar un recubrimiento de platino negro o grafito; estos se encuentran sellados dentro de un tubo de plástico o vidrio, de tal manera que éste aparato puede ser sumergido en el líquido a medir (Garay *et al.*, 2003).

5.3.4 Determinación de la demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO es un parámetro químico, que se realiza en laboratorio, esta representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de “oxígeno” equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución (agua) (Garay *et al.*, 2003).

6. METODOLOGÍA

6.1 Área de muestreo

Este estudio se realizó en dos de los lagos que integran el Parque Nacional Lagunas de Montebello. Este parque se encuentra ubicado en el suroeste del estado de Chiapas, México, cerca de la frontera con Guatemala entre $16^{\circ} 5'$ y $16^{\circ} 10'$ Latitud y entre $91^{\circ} 38'$ y $91^{\circ} 47'$ Longitud. El parque nacional Lagunas de Montebello cubre un área de 60 km^2 con un rango altitudinal de 1200 a 1800 msnm. Su clima es templado húmedo a subhúmedo con lluvias todo el año (García-Amaro 1988), con una precipitación total anual de 1800 mm y una temperatura media anual de 17°C (CONANP, 2011). Se tomaron tres muestras de la “Laguna agua tinta” (A, B, y C) y tres muestras de la “Laguna la encantada” (D, E y F) (Figura 1).

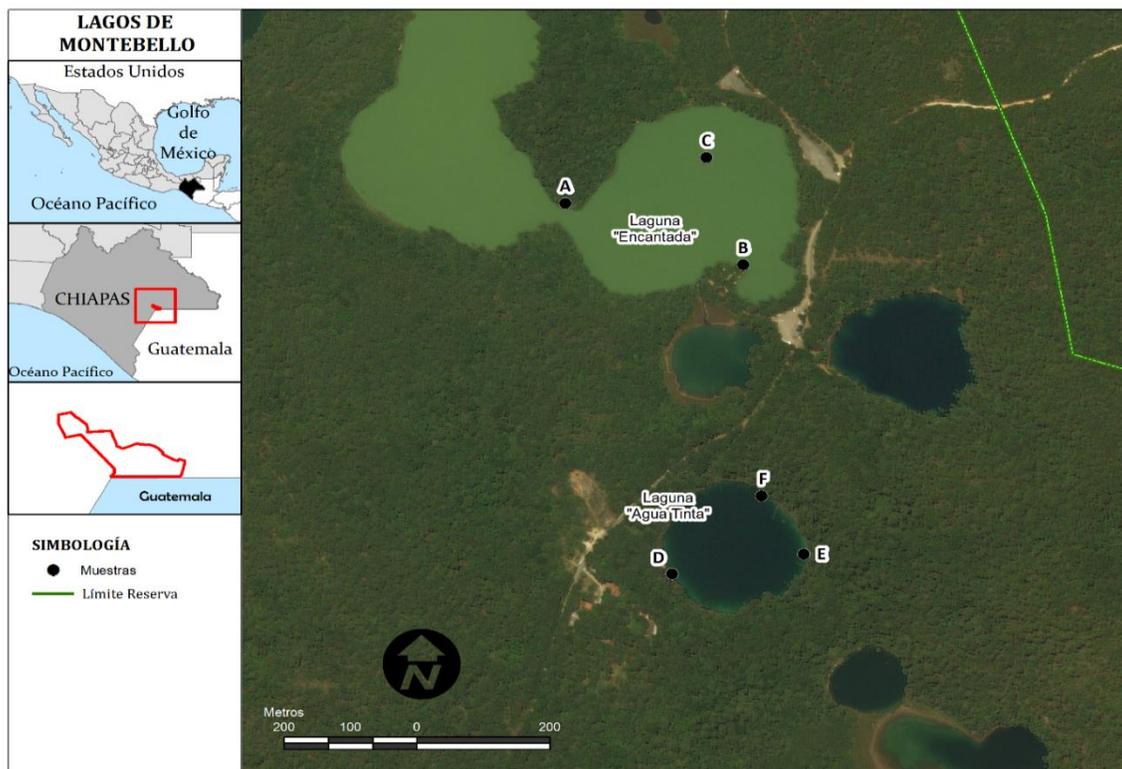


Figura 1: ubicación de los puntos de muestreo en ambos lagos estudiados.

6.1.1 Características de la laguna La Encantada y Agua Tinta

La laguna “La Encantada” se encuentra a una altitud de 1434 msnm. Es una laguna turbia, con una conexión hacia bosque azul, la vegetación predominante en la periferia es bosque de pino y en las orillas por *Cladium jamaicense* (Orozco 2016). Presenta una forma semicircular con un área de 8.2 ha, una profundidad máxima de 89 m y una profundidad mínima de 29.4 m y un volumen de agua de 2410000 m³ (Alcocer *et al.*, 2016). Tiene concentraciones anuales de variables fisicoquímicas: temperatura ($25.5 \pm 0.63^{\circ}\text{C}$), un pH alcalino (8.01 ± 0.53), concentración de oxígeno disuelto (6.02 ± 0.53 mg/L) y conductividad eléctrica ($372.6+62.3$ $\mu\text{S/cm}$) (Orozco 2016).

La laguna Agua Tinta se encuentra a una altitud de 1458 msnm, es una laguna transparente de tipo circular, la vegetación predominante en la periferia es bosque de pino-encino-liquidambar y las orillas está dominada por *Cladium jamaicens* (Orozco 2016). Presenta un área de 3 ha, una profundidad máxima de 24 m y mínima de 14.7 m y su volumen de agua es de 440000 m³ (Alcocer *et al.*, 2016). Las concentraciones promedio de las variables fisicoquímicas son: temperatura (23.6 ± 1.75 $^{\circ}\text{C}$), un pH alcalino (8.5 ± 0.52), concentración de oxígeno disuelto de (6.12 ± 0.91 mg/L) y conductividad eléctrica (301.5 ± 50.4 $\mu\text{S/cm}$) (Orozco 2016).

6.2 Toma de muestras

6.2.1 Muestras de sedimentos

Las tomas de muestras se hicieron manualmente, con guantes de latex esteriles para evitar contaminacion de la muestra. Posteriormente las muestras se colocaron en bolsas de polietileno negras esteriles de 30 X 45

cm para evitar la exposición a la luz solar y contaminación. Se transportaron al laboratorio en hieleras a 4°C y se almacenaron a 20°C hasta su uso.

6.2.2 Muestras de agua

Las muestras de agua se tomaron a una profundidad de 50 cm en botellas de vidrio color ámbar, debido a que el análisis no fue realizado de inmediato se le agregó 2 mL de ácido sulfúrico por litro para disminuir su pH y evitar el crecimiento de bacterias, las muestras se mantuvieron a una temperatura de -4°C hasta su uso.

6.3 Determinación de plaguicidas organoclorados

6.3.1 Tratamiento de la muestra

1. Para eliminar la humedad de las muestras se colocaron en capsulas de porcelana y se secaron a la estufa a una temperatura de 40°C. Las muestras fueron trituradas en un mortero hasta obtener un polvo fino y homogéneo, posteriormente fue tamizado (2 x 1 mm) y fue almacenado en bolsas ziploc a temperatura ambiente hasta su uso.
2. Se toma una muestra de 10 gr en un tubo de centrifuga de 50 mL, esto se hace por duplicado. Se prepararon 2 controles fortificados que serán los límites de detección (0.1 mg/L y 0,3 mg/L) se verifica la extracción en la misma matriz. Se añade 10 mL de acetonitrilo y se agita vigorosamente por 10 minutos.
3. Se añadió 1 gr de cloruro de sodio y 4 gr de sulfato de magnesio anhidro y se agito, se mezcló en el vórtex por 1 minuto a su máxima velocidad. Fue necesario realizar rápido este paso para evitar la formación de conglomerados.
4. Se centrifugó por 5 min a 2500 g o 5000 rpm a 15°C, se transfirió la parte superior de la capa de acetonitrilo a un vaso de precipitado, se evaporó a

sequedad en la campana con flujo de aire constante. En el mismo vaso de precipitado se reconstituyó con 1 mL de acetonitrilo y se vació dentro de un tubo Eppendorf de 2 mL conteniendo 25 mg de PSA y 150 mg de sulfato de magnesio anhidro, se mezcló con el vórtex nuevamente pero ahora por 30 s a velocidad media.

5. Posteriormente se centrifugó por 2 min a 3500 g o 6000 rpm a 15 °C y se vació en el vial de 2 mL hasta su uso. Se anotó todos los pasos de extracción en el formato FM-002-PL extracción de plaguicidas por el método M-002-PL. (FM-002/2-PL). El extracto se concentró a un volumen final de 100 μ L y se inyectó 1 μ L del extracto en el CG-EM para corroborar la presencia o ausencia del compuesto en el tiempo de retención del estándar puro.
6. Como no se detectó presencia de picos en los tiempos de retención de los analitos conocidos, se reportaron como analitos no detectados (ND) en la muestra. Tampoco fue necesario realizar curvas de calibración para la cuantificación de cada uno de ellos.

6.3.2 Análisis de la muestra

El análisis de las muestras se llevó a cabo en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrofotómetro de masas (CG-EM), utilizando una columna capilar de vidrio fundido de 30 m de largo y 0.25 mm de diámetro. Las muestras se inyectaron en modo splitless. Como gas portador se usó helio de alta pureza con un flujo constante de 1 min⁻¹. Las rampas de temperatura fueron: 50°C durante 2 min, incremento a razón de 15°C min⁻¹ hasta 280 °C y tiempo de espera de 10 min. El espectrómetro de masas operó por impacto electrónico (EI) a 70 eV. La transferencia de masas se llevó a cabo a una temperatura constante de 280°C, en tanto que la fuente de ionización se mantuvo a 180°C. La exploración de los espectros de masas se realizó en un rango de m/z 50-400, en modo de ionización simple

(SIM). Los compuestos fueron identificados mediante comparación del tiempo de retención y del espectro de masas de cada analito.

El límite de detección de cada compuesto se determinó inyectando soluciones con concentraciones que disminuyeron gradualmente hasta encontrar la concentración más baja detectada por el equipo. La cuantificación de los compuestos se realizaría mediante curvas de calibración con estándares externos de cada uno de los analitos de interés. Sin embargo, no hubo necesidad debido a la ausencia de los compuestos de interés.

6.4 Determinación de metales pesados

La identificación de metales pesados se realizó mediante la NMX-AA-051-SCFI-2016, analizándose por medio de atomización por horno de grafito, atomización por flama y atomización por generación de hidruros. Se hicieron disoluciones patrón para cada uno de los metales.

Se usaron frascos para digestión en autoclave donde se colocaron 5 gr de sedimento seco adicionando 5 mL de HCl, 5 mL de HNO₃ y 15 mL de agua desionizada, manteniendo a una temperatura de 125°C y una presión de 15 lb. El proceso se repitió dos veces, cada sesión fue de 50 min.

Los metales a identificar fueron el Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Zn y Hg. Fueron seleccionado por su alto nivel de toxicidad, su relación la minería y su constante presencia en otros estudios (Esteves *et al.*, 1996, García-García *et al.*, 2012, Soto-Cruz *et al.*, 2011, Pérez-Cruz *et al.* 2013).

6.4.1 Tratamiento de la muestra

Los metales fueron trabajados de la forma siguiente:

1. **Cadmio (Cd):** se disolvió 0.100 g de Cadmio metálico en 4 mL de HNO₃ concentrado, se le adicionó 8 mL de HNO₃ concentrado y se aforó a 1000 mL con agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg de Cd.

2. **Cromo (Cr):** se disolvió 0.1923 g de CrO₃ en agua. Cuando la disolución fue completa, se le acidificó con 10 mL de HNO₃ concentrado, y se aforó a 1000 mL con agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg Cr.

3. **Cobre (Cu):** se disolvió 0.100 g de cobre metálico en 2 mL de HNO₃ concentrado, se le adicionó 10 mL de HNO₃ concentrado y se aforó a 1000 mL con agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg Cu.

4. **Manganeso (Mn):** se disolvió 0.1000 g de manganeso metálico en 10 mL de HCl concentrado mezclado con 1 mL de HNO₃ concentrado. Se aforó a 1000 mL con agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg Mn.

5. **Mercurio (Hg):** se disolvió 1.080 g de Óxido de Mercurio HgO en un volumen mínimo de HCl 1 + 1. Se aforó a 1000 mL con agua y se homogenizó la solución; 1 mL de esta solución contenía 1000 µg de Hg.

6. **Plomo (Pb):** Se disolvió 0.1598 g de nitrato de plomo, Pb(NO₃)₂, en una mínima cantidad de HNO₃ 1 + 1, se adicionó 10 mL de HNO₃ concentrado y se aforó a 1000 mL con agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg Pb.

7. **Zinc (Zn):** se disolvió 0.100 g de Zinc metálico en 20 mL de HCl 1 + 1 y se alforó a 1000 mL en agua; 1 mL de esta solución contenía 100 µg Zn.

6.4.2 Análisis de las muestras

- Para los metales Pb, Cr y Cd se utilizó el equipo de cromatografía de gases por absorción atómica en horno de grafito.
- Para Cu, Mn, Fe y Zn se utilizó el equipo de cromatografía de gases por absorción atómica de flama.
- Para el Hg, se utilizó el equipo de cromatografía de gases por absorción atómica de flama con generador de hidruros.

6.5 Determinación de parámetros fisicoquímicos en agua

6.5.1 In situ

Se midió Temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. Estos parámetros se midieron con el equipo portátil multiparamétrico HACH HQ40D.

6.5.2 Ex situ (DQO)

Se determinó la demanda química de oxígeno (DQO) mediante la metodología de la norma con refluo cerrado.

6.6 Curva de calibración y determinación la demanda química de oxígeno (DQO)

Se preparó una solución madre de biftalato de potasio. Para esto se pesó 6 g de biftalato de potasio y se disolvió en agua destilada llevándola a un volumen de 500 mL (400 ppm). A partir de esta solución se realizaron varias soluciones a diferentes concentraciones en un volumen de 25 mL para cada una, la dilución se llevó a cabo en agua destilada. Posteriormente se tomaron 2 mL de cada dilución y eran colocados en los viales del kit de digestión para determinar la DQO. Estos viales se colocaron en un digestor precalentado anteriormente a 150 °C por dos horas. Después se retiraron de la plancha térmica y se dejaron enfriar a temperatura ambiente para poder realizar la lectura de absorbancia en un espectrofotómetro a 620 nm (Cuadro 1).

Cuadro 2. Concentraciones que se prepararon y sus respectivas absorbancias con las que se realizó la curva de calibración para determinar la DQO.

Concentración	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
Absorbancia	0	0.017	0.023	0.034	0.051	0.055	0.067	0.078	0.091	0.098	0.110

Con los datos obtenidos se procedió a realizar una curva de calibración con el *software* de cálculo Microsoft Excel del Office 2016, por el método de mínimos cuadrados. La bondad de ajuste (R^2) que se obtuvo fue de 0.9932 y la ecuación $Y = 0.0004X$, donde Y es la absorbancia y X es la concentración de la DQO (Fig. 2).

Para determinar la DQO en la muestra se siguió el método colorimétrico, para esto se tomaron 2 mL de cada una y se colocaron en los viales del kit de digestión, posteriormente se colocaron en el digestor precalentado a 150°C durante 2 horas. Después de *retirarlos* de la plancha térmica se dejaron enfriar a temperatura ambiente para realizar la lectura en el espectrofotómetro a una -----

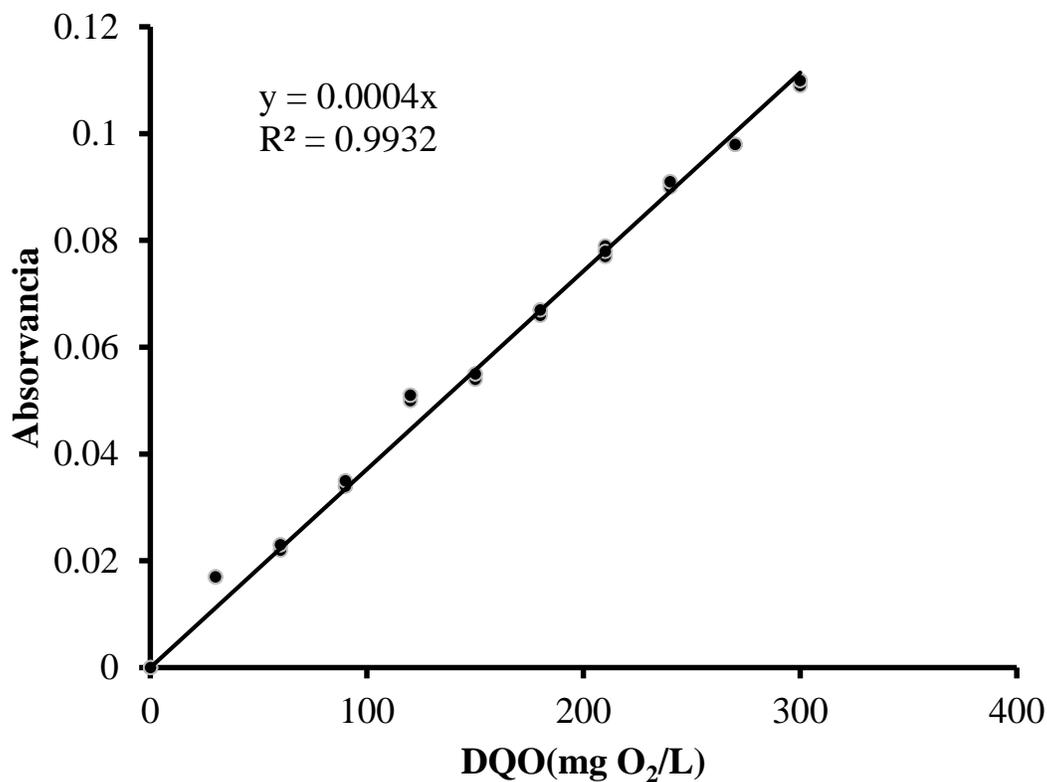


Figura 2: Curva de calibración para determinar la DQO en las muestras de aguas colectadas en ambos lagos en estudio.

longitud de onda de 620 nm y determinar la DQO de cada una de las muestras haciendo uso de la ecuación que se obtuvo al realizar la curva de calibración por el método de mínimos cuadrados (Fig. 2).

6.7 Determinación de parámetros fisicoquímicos en sedimentos

- ✓ Se pesaron y empaquetaron 200 gr de muestra las cuales fueron enviadas a El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad San Cristóbal para la determinación de Nitrógeno (N), Fosforo (F) y Carbono total (CT).

- ✓ El nitrógeno total fue determinado por Kjeldahl, en el cual las muestras son sometidas a una digestión con ácido y un agente reductor (catalizador) hasta aumentar el punto de ebullición, agregando una base fuerte liberando amoníaco (NH_3) que es arrastrado hasta el frasco colector por destilación en corriente de vapor.

- ✓ La determinación del fósforo total fue realizada mediante una digestión de fluoruro de amonio en un medio ácido para solubilizar el fósforo, posteriormente se filtra y se centrifuga y el extracto obtenido se analiza por colorimetría.

- ✓ Para la determinación de carbono total la muestra se colocó dentro de la cámara de combustión a una temperatura de 900°C , proceso que provoca la liberación de CO_2 proveniente de todo el carbono presente en el suelo. El CO_2 es cuantificado con un detector de infrarrojo.

6.8 Análisis estadístico

Los parámetros fisicoquímicos con las concentraciones de metales pesados de ambas lagunas fueron concentrados en un cuadro (cuadro 3) para poder realizar comparaciones y describirlos cualitativamente. Además, fueron analizados con el *software* R versión 3.4.2 por medio de un método estadístico multivariado de componentes principales, para encontrar posibles relaciones de las concentraciones de los metales con los parámetros fisicoquímicos y además ver la variabilidad de los puntos que fueron muestreados en ambas lagunas (Cruz-Esteban *et al.*, 2014).

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 Parámetros fisicoquímicos en agua y sedimentos

Los parámetros fisicoquímicos del agua varían de un lago a otro (Cuadro 3). La temperatura más alta se observó en el punto F del lago Agua Tinta (27°C) y el punto C de La Encantada presentó la temperatura más baja (22.8°C). La temperatura es variable entre los puntos muestreados de ambas lagunas. El pH presentó diferente comportamiento (8.4 - 9.47), la laguna La Encantada presentó los pH más altos en comparación con Agua Tinta. La conductividad eléctrica varió en todos los puntos de ambos lagos, siendo el punto A quien presentó la conductividad eléctrica más alta (295 - 343 S/cm). El oxígeno disuelto fue más alto en la laguna La Encantada en comparación con el lago Agua Tinta (6.12 – 9.18 mg/L). La DQO fue bastante variable de un lago a otro (75.5 – 117.17 mgO₂/L) y entre los puntos de cada lago, presentando la DQO más alta el lago La Encantada en el punto C.

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos de los puntos muestreados en los lagos Agua Tinta y La Encantada.

Parámetros Fisicoquímicos	La Encantada			Agua Tinta		
	A	B	C	D	E	F
T(°C)	25.1	25.6	22.8	26	25	27
pH	9.35	9.47	9.47	8.6	8.4	8.6
CE (S/cm)	343	338	295	316	310	314
OD (mg/L)	8.39	9.18	8.92	6.12	6.11	6.9
DQO (mgO ₂ /L)	82.17	75.5	117.17	86.33	107.17	85.5
FT(mg/kg)	63.22	5.75	5.75	522.99	293.10	5.75
NT ()	0.09	0.13	0.19	0.15	0.04	0.06
CT	10.46	10.46	13.18	7.22	1.58	1.81

T= temperatura, pH= potencial de hidrogeno, CE=conductividad electrica, OD= oxigeno disuelto, DQO= demanda quimica de oxigeno, FT= fosforo total, NT= nitrogeno total, CT= carbono total.

El FT, NT y CT se les midieron a los sedimentos de cada punto muestreado. El FT fue más alto en la laguna Agua Tinta (punto D y E) y los niveles más bajos fueron observados en la laguna La Encantada (punto B y C) y en el punto F de Agua Tinta. El NT total fue similar en todos los puntos muestreados y el CT fue más alto en los tres puntos de la laguna La Encantada.

Las medidas de los parámetros fisicoquímicos son variables entre lagunas y entre los puntos de cada laguna. Sin embargo, podemos ver que la DQO solo fue alta en uno de los puntos de cada lago muestreado, por lo que podemos inferir que la carga orgánica no está distribuida de forma homogénea en ambas lagunas. Puede ser que cada laguna tenga diferentes entradas de carga orgánica o las corrientes están acumulando la carga orgánica en una sola región en ambas lagunas (punto C y E). El OD es más bajo en la laguna Agua Tinta, únicamente en una unidad, lo que indica que hay más demanda de oxígeno por posible degradación de materia orgánica. Sin embargo, basándonos en la DQO y el OD la laguna Agua Tinta no se puede inferir o emitir un diagnóstico sobre que laguna es la más contaminada. Posiblemente la laguna La Encantada está más expuesta a descargas orgánicas, por lo que los parámetros fisicoquímicos están un poco más altos en sus puntos que la representan con la excepción del OD. El CT y NT fueron bajos y similares en todos los puntos. El FT si se presentó alto en el punto D de la laguna Agua Tinta, parece indicar una fuerte introducción de escorrentías agrícolas con alto contenido de fertilizantes.

7.2 Plaguicidas organoclorados

A parte de los tres plaguicidas organoclorados que se propusieron evaluar, incluimos 54 más (ANEXO I). Los extractos de ambos lagos que fueron analizados por CG-EM, no mostraron la presencia de ningún plaguicida, con excepción de un compuesto identificado como pronamida. Sin embargo, no se pudo corroborar si realmente se trataba de este herbicida por no contar con el estándar puro.

7.3 Metales pesados

La presencia de metales pesados es variable en ambas lagunas (cuadro 4). El Cd fue mas abundante en el punto A de la laguna La Encantada. El Cr fue abundante en los tres puntos de Agua Tinta. El Cu se presentó con mayor concentración en el punto F de la laguna Agua Tinta. El Fe se encontró con mayor abundancia en los tres puntos de La Encantada. El Hg fue observado en mayores concentraciones en la laguna Agua tinta.

La concentración del Mn fue variable en ambas lagunas, observándose la concentración más alta en el punto A de la laguna La Encantada, el Pb presentó una presencia similar mostrando su mayor concentración en el punto D de la Laguna Agua Tinta. Sin embargo, ninguno de los metales superó los LMP de la norma oficial mexicana o las canadienses. El límite de cuantificación del método

Cuadro 4. Concentración de metales pesados encontrados en los lagos Agua Tinta y La Encantada ($\mu\text{g/L}$).

Metales pesados	La Encantada			Agua Tinta		
	A	B	C	D	E	F
Cd	65.8	13.2	3.6	3.9	2.3	1.7
Cr	7.4	10.3	8.7	59.5	115	51
Cu	285.5	618	389	58	378	1932
Fe	772	1354.5	1540	3.4	5.8	3.2
Hg	7.5	8.8	9.1	12.5	13.5	15.5
Mn	87.5	43	10	29.8	67.3	24.2
Pb	128.8	127.5	91.8	186.5	382	151.5
Zn	879.5	1909	1162.5	186.5	382	151.5

Cd= Cadmio, Cr= Cromo, Cu= Cobre, Fe= Fierro, Hg= Mercurio, Mn= Manganeso, Pb= Plomo, Zn= Zinc.

de análisis utilizado fue inferior al LMP establecido por la norma mexicana y canadiense. Estos resultados son similares a los reportados por Laino-Guanes *et al.*, (2015) que no encontraron niveles de metales que superara las mismas normas con excepción del Hg que superó en alguno de los puntos a las normas canadienses pero siempre estuvo por debajo de la norma mexicana.

Las concentraciones más altas de Zn se observaron en los tres puntos de la laguna La Encantada. Podemos observar que la laguna La Encantada presentó los niveles más altos de Cd, Fe, Mn y Zn. La laguna Agua Tinta presentó los niveles más altos de Cr, Cu, Hg y Pb. Pero ambas lagunas contienen a los ocho metales en diferentes cantidades. La distribución es similar a la de los parámetros fisicoquímicos, todo parece indicar que ambas lagunas tienen fuente de ingreso de estos contaminantes o que las corrientes acumulan los contaminantes en una sola región en ambas lagunas. Sin embargo la laguna La Encantada siempre mostró niveles más altos de todos los metales evaluados en comparación a la laguna Agua Tinta. Esto refuerza a la predicción hecha con base a los parámetros fisicoquímicos, la laguna La Encantada está más expuesta a descargas urbanas o lixiviados que contengan altos niveles de contaminantes entre ellos metales pesados.

El análisis de componentes principales (Fig. 3), explica el 75.74% de la variabilidad del total de los datos con los primeros dos componentes. Los puntos A, B y C que pertenecen a la laguna La Encantada se separan debido a que son heterogéneos en cuanto a los parámetros fisicoquímicos y concentración de metales que presentaron. Si observamos la figura y la relacionamos con el contenido de metales (Cuadro 3) la laguna La Encantada es la que presenta las mayores concentraciones de metales con la excepción del Cu y Pb que estuvieron distribuidos de forma similar en ambas lagunas. Esto nos ayuda a inferir que la laguna La Encantada es la más contaminada, y que la contaminación no está distribuida de forma homogénea en toda la laguna, puede que tenga diferentes entradas de contaminantes y el flujo del agua de una a otra laguna es muy diverso. Por ejemplo, en el punto A está más concentrado el Cd y

Mn. En los otros puntos se concentraron otros metales puede ser que de ese lado esten entrando a la laguna o que en esas areas se esten concentrando. Los puntos D, E y F de la laguna Agua Tinta son mas homogeneos por eso esta casi juntos formando un grupo. El punto A presenta las concentraciones mas altas de Cd y Mn. Además, la CE esta altamente relacionada Mn y Cd. La DQO esta relacionada de forma Negativa tanto con la CE y los dos metales (Cd y Mn). El punto B presento las concentraciones mas altas de Pb, Zn, Hg, Cu los que a su vez estan relacionados positivamente con CT, OD y de forma negativa con el FT. El punto C presento la concentración más alta de Fe y está relacionado de forma positiva con el NT y DQO.

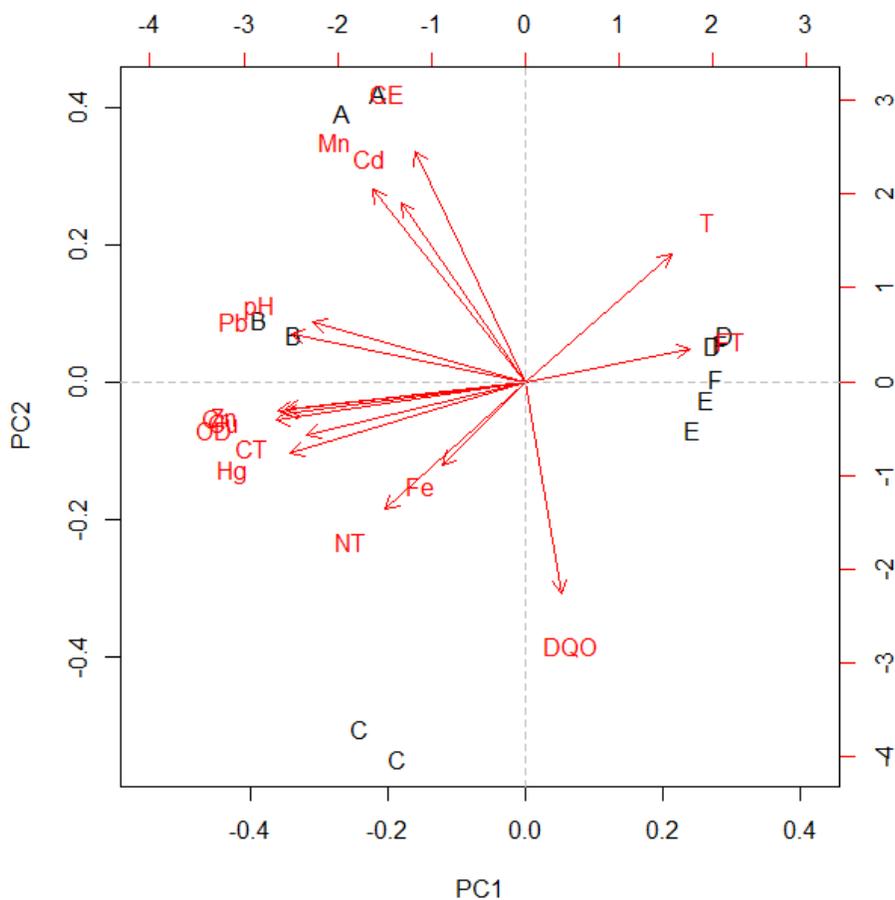


Figura 3: Componentes principales de los parámetros fisicoquímicos y la presencia de metales en los puntos de muestreo de las lagunas estudiadas.

Los tres puntos de la laguna Agua Tinta presentaron niveles altos de FT, las temperaturas mas altas y las concentraciones mas bajas de metales comparado con la laguna La Encantada. El FT se relaciona de forma positiva con la T y de forma negativa OD, pH, NT, CT y con los metales Pb, Fe, Hg, Zn, Cu.

Nuestros resultados muestran un posible riesgo de contaminación en la laguna La Encantada, sin embargo, aun estamos a tiempo para concientizar a los ciudadanos de las regiones aledañas sobre el uso moderado de los plaguicidas y optar por policultivos para evitar conglomeraciones de plagas y enfermedades a las plantas de interes. Así tambien, nuestros gobiernos no deben permitir explotacion minera alguna en las regiones aledañas a estos lagos que son un tesoro de la humanidad. Las concentraciones de metales no alcanzaron los limites permisibles pero debemos tener en cuenta que son bioacumulables y debemos evitar estar introduciendo estos tipos de contaminantes a estos cuerpos de aguas que tiene una finalidad recreativa, de consumo y de pesca.

En México como en otros países latinoamericanos existe el trabajo o tarea de implementar normas para metales en sedimentos; la legislación debe considerar los aspectos prioritarios sobre las condiciones geográficas y ambientales de los cuerpos de agua en la región (Leal-Ascencio *et al.*, 2009; Laino-Guanes *et al.*, 2015). Es tiempo de empezar a valorar más el acto de prevención y no después el buscar los mejores métodos de remediación que no recuperaran jamás un ambiente que ha sido dañado de forma directa o indirecta ya sea por el desarrollo urbano, industrial o por la minería.

7.4 Límites máximos permisibles por las normas mexicana y canadiense, y niveles de referencia para EUA

En México no existen normas que establezcan Límites Máximos Permisibles (LMP) para metales en sedimentos; por lo tanto, los resultados de este estudio se compararon con la Norma Oficial Mexicana de Criterios para la Determinación de Suelos Contaminados por Metales Pesados (NOM-147-SEMARNAT/SSA1,

2004). Esta legislación no incluye valores de Cr total (sólo hexavalente), Cu ni Zn. También se utilizaron las guías canadienses (CEQG, por sus siglas en inglés, *Canadian Environmental Quality Guidelines*) que establecen valores de referencia de metales en sedimentos de cuerpos de agua continental (cuadro 2).

Estas guías no incluyen al Ni y para el As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb y Zn establece dos valores: (1) el llamado Guía Provisional de Calidad del Sedimento (ISQG, por sus siglas en inglés, *Interim Sediment Quality Guideline*), que representa la concentración por debajo de la cual no se espera que ocurran efectos biológicos adversos, y (2) el llamado Nivel de Efecto Probable (PEL, por sus siglas en inglés, *Probable Effect Level*), que es la concentración sobre la cual aparecen con frecuencia efectos biológicos adversos. Finalmente, se compararon los resultados de metales en sedimentos con los niveles de fondo (*background levels*) establecidos en la tabla de referencia (*Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment*) emitida por la Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés, *National Oceanic and Atmospheric Administration*) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Límites permisibles para metales en sedimentos establecidos por la norma mexicana (NOM) y canadiense (CEQG), y niveles de fondo de referencia para Estados Unidos (NOAA, 1999).

NORMA		Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Pb	Zn
		(µg/L)							
NOM		37000	-	-		23000		400000	-
CEQG	ISQG	600	37300	35700		170		35000	123000
	PEL	3500	90000	197000		486		91300	315000
NOAA		100-300	7000-13000	10000-25000		4-51		4000-17000	7000-38000

NOM: Norma Oficial Mexicana-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar suelos contaminados por metales.

CEQG: Guías de Calidad Ambiental Canadiense (por sus siglas en inglés, *Canadian Environmental Quality Guidelines*) para sedimentos de cuerpos de agua continental.

ISQG: Guía Provisional de Calidad del Sedimento (por sus siglas en inglés, *Interim Sediment Quality Guideline*).

PEL: Nivel de Efecto Probable (por sus siglas en inglés, *Probable Effect Level*).

NOAA: Administración Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América (por sus siglas en inglés, *National Oceanic and Atmospheric Administration*), niveles de fondo (*background levels*) de la tabla de referencia (*Screening Quick Reference Table for Inorganics in Freshwater Sediment*).

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ✓ Los parámetros fisicoquímicos, así como las concentraciones de metales pesados encontradas en ambas lagunas, no rebasan los LMP por lo que estamos a tiempo para concientizar a la ciudadanía e instituciones encargadas del cuidado de estas reservas que son un patrimonio de la nación.
- ✓ La presencia de plaguicidas organoclorados no fue posible detectarlos, sin embargo, no debemos asegurar su ausencia, por lo que es recomendable seguir monitoreando de forma rigurosa en el futuro con técnicas analíticas más sensibles.
- ✓ Nuestro país, así como nuestro Estado debe implementar normas que aseguren los patrimonios naturales con los que contamos como chiapanecos. Se deben activar las leyes ambientales y no permitir que se violen poniendo en riesgo cuerpos de aguas que son utilizados para recreación, consumo y como hábitat de peces que son alimento a la humanidad.
- ✓ Se necesita mayor información para concluir que los POCs y metales no están afectando de manera negativa al ecosistema y la salud de las comunidades aledañas a los lagos en estudio. Por lo que es necesario continuar monitoreando los contaminantes emergentes que puedan estar siendo descargados de forma continua a los drenajes, estos a su vez llegan a los ríos que desembocan en lagos y océanos.

9. COMPETENCIAS

- ✓ Con la realización de este trabajo aprendí a aplicar algunos métodos y procedimientos de laboratorio, así como la determinación, interpretación y análisis de datos.
- ✓ Extraje e identifique organoclorados por cromatografía de gases acoplado a espectrometría de masas haciendo uso de espectros de masa, tiempo de retención y estándares externos.
- ✓ Lo más importante, aprendí a visualizar y plantear un problema relacionado con mi formación académica, ya que con los resultados obtenidos se podrían plantear métodos de prevención sobre la contaminación de cuerpos de aguas con POCs y metales pesados, no dejando de lado los procesos de remediación que afortunadamente no es necesario aún. Sin embargo, es necesario implementar plantas de tratamientos de aguas residuales y desechos industriales para minimizar las descargas de estos contaminantes.
- ✓ Como Ingeniero químico Ambiental me es importante establecer líneas bases en relación a la concentración de POCs y metales pesados, ya que existen regiones de interés social en los que no se les presta atención a estos estudios. Se debe entender y conocer como la presencia de estos contaminantes en los ecosistemas responde también a causas naturales y sus efectos llegan a retribuir hasta en la salud humana.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. & Martínez, G. (2002). *Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela*. *Interciencia* 27(12): 686-690.
- Alegría, H.A, Wong, F., Jantunen, L.M. and Bidleman, T.F., Salvador-Figueroa, M., Gold Bouchot, G., Ceja Moreno, V., Waliszewski, S.M. and Infanzon, R. (2004) Organochlorine Pesticides and PCB in Air Southern Mexico. *Atmospheric Environment*, **42**, 8810-8818.
- Alegría, H.A., Bidleman, T.F. and Salvador-Figueroa, M. (2006) Organochlorine Pesticides in the Ambient Air of Chiapas, Mexico. *Environmental Pollution*, **140**, 483-491.
- Alegría, H.A., Bidleman, T.F. and Shaw, T.J. (2000) Organochlorine Pesticides in the Ambient Air of Belize, Central America. *Environmental Science & Technology*, **34**, 1953-1958.
- Benítez, J.A. and Bárcenas, C. (2005) Patrones de uso de los plaguicidas en la zona costera del Golfo de México. In: Botello, A.V., Rojas-Galaviz, J.L., Benítez, J. and Zárate-Lomelí, D., Eds., *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnostico y Tendencias*, EPOMEX Serie Científica 5, Universidad Autónoma de Campeche, México, 155-167.
- Calva, L.G. y M. Torres, 1998. Plaguicidas Organoclorados. Departamento de Hidrobiología. D.C.B.S. UAM-I. Contactos 30: 35-46.
- Carvalho, F.P., Gonzalez-Farías, F., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Hernandez-Garza, M., Mee, L.D. and Fowler, S.W. (2002) Distribution, Fate and Effects of Pesticides Residues in Tropical Coastal Lagoons of the Northwest of Mexico. *Environmental Technology*, **23**, 1257-1270.
- Carvalho, F.P., Montenegro-Guillen, S., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Bartocci, J., Lacayo, M. and Cruz, A. (1999) Chlorinated Hydrocarbons in Coastal Lagoons of the Pacific Coast of Nicaragua. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **36**, 132-139.
- Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Rendon, J. and Mota de Oliveira, J. (2009) Pesticides and PCB Residues in the Aquatic Ecosystems of Laguna

- de Terminos a Protected Area of the Coast of Campeche, Mexico. *Chemosphere*, **74**,988-995.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2011, Parque Nacional Lagunas de Montebello: Estudio para monitorear los parámetros de calidad del agua de las lagunas comunicadas con el sistema lagunar Tepancoapan, 77 p.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2009) Registro Público de Derechos del Agua. Octubre de 2009.
- Cruz-Esteban (2009). Tratamiento químico de aguas contaminadas con paratión metílico por medio de la reacción de oxidación de Fenton. Tesis profesional del Instituto Tecnológico de Tapachula.
- Cruz-Esteban, S., Cruz-López, L., Malo, EA., Valle-Mora J., Infante-Matha, DM., Santiesteban-Hernandez, A., Gutiérrez HR. 2014. Presencia de anti-inflamatorios no esteroideos en cuerpos de agua superficial de tapachula, chiapas, México. *AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 7: 105-114.
- Eskenazi, B., Marks, A.R., Bradman, A., Fenster, L., Johnson, C., Barr, D.B., Jewell, N.P., 2006. In utero exposure to dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and dichlorodiphenyldichloroethylene (DDE) and neurodevelopment among young Mexican American children. *Pediatrics*, 118: 233-241.
- Esteves, J. E., Gil, M., & Harvey, M. (1996). Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y materiales en suspensión de la cuenca Turbio - Gallegos. Puerto Madryn, Argentina: Fundación Patagonia Natural.
- Flores-Luévano, S., Farias, P., Hernandez, M., Romano-Riquer, P., Weber, J.F., Dewally, E., Cuevas-Alpuche, J., Romieu, I., 2003. Concentraciones de DDT/DDE y riesgos de hipospadias. Un estudio de casos y controles. *Salud Pública de México*, 45: 431- 432.
- García-Amaro, E., 1988, Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana: Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F., México, 205 p.

- García-García, N., Pedraza-Garciga, J., Montalvo, J. F., Martínez, M., & Leyva, J. (2012). Evaluación preliminar de riesgos para la salud humana por metales pesados en las bahías de Buenavista y San Juan de los Remedios, Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Química*, 24(2), 126-135.
- Gladen, B.C., Klebanoff, M.A., Hediger, M.L., Katz, S.H., Barr, D.B., Davis, M.D., Longnecker, M.P., 2004. Prenatal DDT exposure in relation to antropometric and pubertal measures in adolescent males. *Environmental Health Perspectives*, 17: 1761-1762.
- Herrera-Portugal, C., Ochoa-Díaz, H., Franco-Sánchez, G., Díaz-Barriga, F., 2005. DNA damage in children exposed to DDT in a malarious area of Chiapas, Mexico. *Acta Toxicol. Arg.* 13: 12-16.
- IARC, 1991. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man. Geneva: World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, 1972-PRESENT. Volume 53 <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol53/volume53.pdf> Accesado: 14 marzo.
- Iwata, H., Tanabem S., Sakaim N., Nishimura, A., Tatsukawa, r., 1994. Geographil distribution of persistent organochlorine in air, water, and sediment from Asia and Oceania and their implications for global redistribution from lower latitudes. *Environmental Pollution* 85:15-33.
- Lacerda, L. D., Carvalho, C. E. V., Tanizaki, K. F., Ovalle, A. R. C. & Rezende, C. E. 1993 The biogeochemistry and trace metals distribution of mangrove Rhizophores. *Biotropica* **25**, 252–257.
- Mackey, A. P. & Hodgkinson, M. C. 1995 Concentrations and spatial distribution of trace metals in mangrove sediments from the Brisbane River, Australia. *Environmental Pollution* **90**, 181– 186.
- NACEC (1997) North American Regional Action Plan for DDT. North American Commission for Environmental Cooperation, Sound Management of Chemicals, Montreal.
- NACEC (2003) DDT No Longer Used in North America. North American Commission for Environmental Cooperation, Montreal.

- Nriagu, J.O., Pacyna, J.M. 1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333 (6169): 134-139.
- Pérez López, Hernán, Pérez López, Germán, Pérez López, María de Lourdes (2007), *Caracterización y diagnóstico del río Grande de Comitán, estado de Chiapas en la región Frontera Sur*, Comité de Cuenca río Grande Lagunas de Montebello, México.
- Pérez, R.N., Acevedo, T.A., Maldonado, P.I., Díaz-Barriga, F., Amador, R.D., Estrada, Y.L., 2007. Organochlorine pesticides exposure in children from the agricultural zone of San Luis Potosí, México. *Epidemiology* 18:177 pp.
- Pérez-Cruz, Y. G., Rangel-Ruiz, L., & Gamboa-Aguilar, J. (2013). Metales en almejas y sedimentos en la Reserva de la Biosfera "Pantanos de Centla" Tabasco, México. *Hidrobiológica*, 23(1), 1-8.
- Pérez-Maldonado I, Díaz-Barriga F, De la Fuente H, González-Amaro R, Calderón J, Yañez L (2004) DDT induces apoptosis in human mononuclear cells in vitro and is associated with increased apoptosis in exposed children. *Environmental Research*, 94: 38-46.
- Ritter, L., Solomon, K.R., Forget, J., Stemeroff, M., O'Leary, C., 1995. Persistent organic pollutants: An assessment report on: DDT, Aldrin, Dieldrin, Endrin, Chlordane, Heptachlor, Hexachlorobenzene, Mirex, Toxaphene, Polychlorinated Biphenyls, Dioxins and Furans. For: The International Programme on Chemical Safety (IPCS) within the framework of the Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC) <http://www.chem.unep.ch/POPS/ritter/en/ritteren.pdf>.
- Ruelas-Inzunza, J., F. Páez-Osuna 1998. Barnacs as Biomonitors of Heavy Metal Pollution in the Coastal Waters of Mazatlán Harvor (Mexico). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 61(5):608-615.
- Salazar-García, F., Gallardo-Díaz, E., Ceron-Mireles, P., Loomis, D., Borja-Aburto, V.H., 2004. Reproductive effects of occupational DDT exposure among male malaria control workers. *Environ. Health Perspect.* 112, 542–547.

- Salazar-García, F., Gallardo-Díaz, E., Ceron-Mireles, P., Loomis, D., Borja-Aburto, V.H., 2004. Reproductive effects of occupational DDT exposure among male malaria control workers. *Environ. Health Perspect.* 112, 542–547.
- Senthil Kumar, K., Sajwan, K.S., Richardson, J.P. and Kanan, K. (2008) Contamination Profiles of Heavy Metals, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Alkylphenols in Sediments and Oyster Collected from Marsh/Estuarine Savannah GA, USA. *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 136-162.
- Shen, L., Wania, F., Lei, Y.D., Teixeira, C., Muir, D.C.G. and Blideman, T.F. (2005) Atmospheric Distribution and Long-Range Transport Behavior of Organochlorine Pesticides in North America. *Environmental Science & Technology*, **39**, 409-420.
- Soto-Cruz, O., Carrillo-Chávez, J., & Suárez-Sánchez, J. (2011). Concentraciones de metales y metaloides en sedimentos del río Zahuapan, Tlaxcala, México. En R Jiménez-Guillen, & M. L. Hernández-Rodríguez (Eds.). Zahuapan: río-región-contaminación (pp. 57-78). Tlaxcala, México: El Colegio de Tlaxcala, A.C
- Soto-Jimenez. M.F., Páez Osuna F. 2001. Distribution and normalization of heavy metal concentrations in mangrove and lagoonal sediments from Mazatlan Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 53:259-274.
- Tam, N. F. Y. & Yao, M. W. Y. 1998 Normalization and heavy metal contamination in mangrove sediments. *The Science of the Total Environment* **216**, 33–39.
- Tan, L., He, M.C., Men, B. and Lin, C.Y. (2009) Distribution and Sources of Organochlorine Pesticides in Water and Sediments from Dalio River Estuary of Liaodong Bay, Bohai Sea (China). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **84**, 119-127.
- Taylor, M.D., Klaine, S.J., Carvalho, F.P., Barcelo, D. and Everaarts, J., Eds. (2003) Pesticides Residues in Coastal Tropical Ecosystems—Distribution, Fate, and Effects. Taylor & Francis Publ., CRC Press, London, 576.
- Torres-Sánchez, L., Rothenberg, S.J., Schnaas, L., Cebrián, M.E., Osorio, E., Del Carmen Hernández, M., García-Hernández, R.M., Del Río-García, C., Wolf,

- M.S., López Carrillo, L., 2007. In utero p,p'-DDE exposure and infant neurodevelopment: a perinatal cohort in México. *Environmental Health Perspectives*, 115: 435-39.
- Visviki, I., & Rachlin, J. W. (1991). The Toxic Action and Interactions of Copper and Cadmium to the Marine Alga *Dunaliella minuta*, in Both Acute and Chronic Exposure. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 20(2), 271-275.
- Wania, F. and Mackay, D. (1996) Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environmental Science & Technology*, **30**, 390A-396A.
- Xu, X., Yang, H., Li, Q., Yang, B., Wang, X. and Lee, F.S.C. (2007) Residues of Organochlorine Pesticides in Near Shore Waters of LaiZhou Bay and JiaoZhou Bay, Shandong Peninsula, China. *Chemosphere*, **68**, 126-139.
- Zhang, J., Huang, W., Liu, S., Liu, M., Yu, Q., & Wang, J. (1992). Transport of Particulate Heavy Metals towards the China Sea: A Preliminary Study and Comparison. *Mar. Chem.*, 40, 161-178.
- Zhou, R., Zhu, L., Chen, Y. and Kong, Q. (2008) Concentrations and Characteristics of Organochlorine Pesticides in Aquatic Biota from Quiantang River in China. *Environmental Pollution*, **151**, 190-199.

11. ANEXOS

Anexo 1: Lista de organoclorados que se identificaron en las muestras de sedimentos colectados en los puntos de muestreo de las lagunas en estudio.

	Plaguicida	Presencia (+) Ausencia (-)		Plaguicida	Presencia (+) Ausencia (-)
1	Dichlorvos	ND	30	Fenthion	ND
2	Etridiazole	ND	31	Parathion	ND
3	Chlorneb	ND	32	Triadimefon	ND
4	Carbaryl	ND	33	Pendimethalin	ND
5	Ethoprophos	ND	34	Tolifluanide	ND
6	Chlorpropham	ND	35	Chlordane	ND
7	Trifluralin	ND	36	Bromophos-ethyl	ND
8	Bendiocarb	ND	37	Tetrachlorvinphos	ND
9	Promecarb	ND	38	Endosulfan	ND
10	Phorate	ND	39	Fenamiphos	ND
11	Carbofuran	ND	40	Hexaconazole	ND
12	Prometon	ND	41	Dieldrin	ND
13	PCNB	ND	42	Oxyfluorfen	ND
14	Atrazine	ND	43	Kresoxymethyl	ND
15	Lindano	ND	44	Endrin	ND
16	Aminocarb	ND	45	Ethylan	ND
17	Diazinon	ND	46	Chlorbenzilate	ND
18	Disulfoton	ND	47	DDT	ND
19	Pirimicarb	ND	48	Ethion	ND
20	Vinclozoline	ND	49	Benalaxyl	ND
21	Methylparathion	ND	50	Phosmet	ND
22	Heptachlor	ND	51	Iprodione	ND
23	Ametryn	ND	52	Bifentrina	ND

24	Prometryn	ND	53	Tetradifon	ND
25	Pirimiphosmethyl	ND	54	Mirex	ND
26	Bromocil	ND	55	Cyhalotrina	ND
27	Malathion	ND	56	Azinphos-ethyl	ND
28	Aldrin	ND	57	Permetrina	ND
29	Chloropyrifos	ND			

ND= no detectado